

7MHz用0.4 λ 短縮ループ・アンテナの 検討, 試作

JE3HFU 田辺 謙造

Kenzo Tanabe

これまで21MHz用1 λ デルタ・ループ・アンテナを製作してきましたが、10m程度のグラスファイバ・ポールを用いれば簡単に製作、調整ができ設置も容易で、移動運用にも好適なことを実感してきました⁽¹⁾。

そこで、この21MHz用ループ・アンテナと同じ程度の大きさで7MHz用として使用できるアンテナの実現の可能性について検討しました。

1 λ ループ・アンテナを30%程度短縮した場合のインピーダンスと利得については、文末の参考文献(2)、(3)などから予測できますが、さらに大幅に短縮した場合についてはデータが見あらず、使い慣れたアンテナ・シミュレーション・ソフトMMANAを用いて評価してみました。

シミュレーションによる 短縮型ループ・アンテナの評価

シミュレーションでは、ループ・アンテナの形状として、逆三角形と長方形を選び、縦方向に長い縦型と横方向に長い横型をシミュレートしました。ループ全周の長さ(以後ループ長と称す)については1 λ から0.3 λ 程度まで細かく変化させ、アンテナのインピーダンスと利得を計算しました。

図1はエレメントが逆正三角形の場合に、ループ長を変化させた場合のインピーダンスと、マッチング時の利得の計算結果を示したグラフです。

図1でわかるように、ループ長が1 λ から0.5 λ 近辺までは、インピーダンスの抵抗成分 R が0.5 λ に近づくに従い急激に増大し、リアクタンス成分 jX がキャパシティブ(容量性)で、0.5 λ に近づくに従い同じく急激に増大します。ループ長が0.5 λ 以下になると、 R 成分が急激に減少すると共に、 jX 成分がインダクティブ(誘導性)となり、急激に減少することがわかります。

図2は、ループ長0.4 λ 近辺における、 R 成分および jX 成分の詳細な変化を示しています。 R 成分が50 Ω となるループ長は0.41 λ 近辺、このときの jX 成分はインダクティブで3k Ω 程度(7MHzにおける補正容量は7.53pF)となることがわかります。

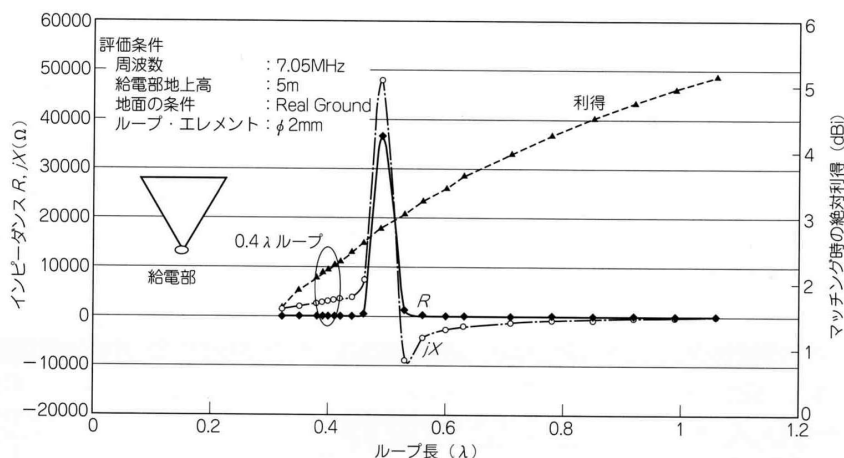


図1 逆正三角形ループのループ長とインピーダンス, 利得

なお、このときの評価条件は、図1に示すように周波数7.05MHz、給電部地上高は、わが家の2階ベランダでの使用を前提として5m、ループ・エレメントの線径は2mmとし、地面の条件はデフォルト値を用いたReal Groundとしています。

図1、図2と同様な計算を縦長、横長の逆三角形、および正方形を含む縦長、横長の長方形についても実施しました。表1はこれらの計算結果をまとめたものです。この表より次のことがわかります。

- 1) 表1に示すすべての形状で、ループ長 0.4λ 付近にてインピーダンスの R 成分がほぼ 50Ω となる領域がある。
- 2) このときの jX 成分は、インダクティブで $3k\Omega$ 前後であり、これをキャパシティブな $3k\Omega$ のリアクタンスで補正すれば、入力インピーダンス 50Ω の短縮型ループ・アンテナが実現できる。このときの補正容量は7MHzにおいて $7\sim 8pF$ 程度となる。
- 3) 利得は縦長タイプより横長タイプのほうが大きく、また横長タイプのほうが 1λ ループからの利得の低下量は少ない。

以上の結果より、7MHz用短縮型ループ・アンテナとして、ループ長 0.4λ のループ・アンテナは比較的小さいサイズで実現できることが予測されます。

7MHz用 0.4λ 短縮ループ・アンテナ 検討、試作

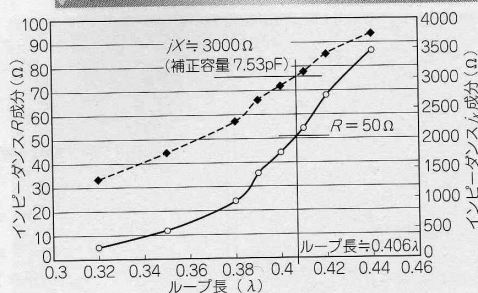


図2 0.4λ 逆正三角形ループのループ長とインピーダンスの詳細

7MHz用 0.4λ デルタ・ループ・アンテナの試作

試作するに際し次の事項に配慮しました。

- 1) 簡単な構成で実現するために、ガラスファイバ・ボールを用い、デルタ・ループとすることが望ましい⁽¹⁾。
- 2) しかし、ボールの頂部に取り付ける水平部は、ボールの機械的強度を考慮すると、あまり長くすることはできない。

例えば、表1に示す利得の高い横長タイプの7MHz用 0.4λ デルタ・ループの場合、水平部の長さは約7.66mとなるが、今回使用予定の先端径11mmガラス・ファイバボールではやや負担が大きすぎる。したがって、今回は利得をある程度犠牲にして水平部の長さ

表1 7MHz 0.4λ 短縮ループのインピーダンス 50Ω 付近での形状効果

	逆三角形ループ			四角形ループ		
	縦長タイプ	正三角形	横長タイプ	縦長タイプ	正方形	横長タイプ
形状(○印：給電部)						
水平部：斜辺部	2 : 3	1 : 1	3 : 2			
水平部：垂直部				2 : 3	1 : 1	3 : 2
インピーダンス R 成分 50Ω 時のループ長(λ)	0.41	0.41	0.42	0.40	0.40	0.39
jX 成分($k\Omega$)	3.7	3.1	2.8	2.8	2.8	2.6
マッチング利得(dBi)	1.87	2.28	3.26	1.82	2.11	2.36
1λ ループに対する利得低下(dB)	4.0	2.7	1.5	3.3	2.7	1.3

注：計算は各ループの形状につきループ長を 1λ 近辺から 0.3λ 近辺まで細かく変化させ実施した。

[インピーダンス、利得の評価条件]

周波数 : 7.05MHz ($\lambda = 42.55m$)
給電部地上高 : 5m

地面の条件 : Real Ground
ループ・エレメント線径 : 2mm

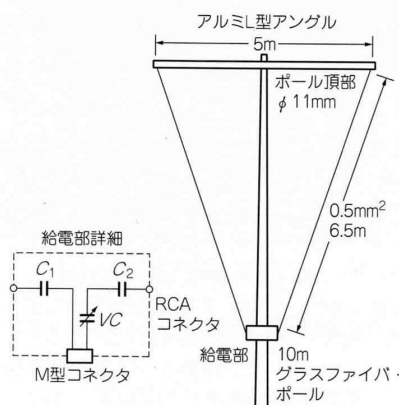


図3 7MHz 0.4λデルタ・ループの構造

を5mとする。

- 3) 3kΩ程度のインダクティブ・リアクタンスを補正するコンデンサは、電流量が大きく高耐圧のものが必要となる。例えば、アンテナ入力インピーダンスが50Ωに調整できた場合、100W入力で入力電流はピーク値で2Aとなり、補正用コンデンサの端子間電圧はピーク値で6kVとなる。実際にはデルタ・ループの左右斜辺部のバランスを取るため、上記のキャパシタンスを2分割して用いるのが望ましいが、この場合コンデンサの容量は2倍となり、端子間電圧は $\frac{1}{2}$ となるため必要な耐圧は3kV程度となる。

以上のことを念頭におき、試作した7MHz用0.4λデルタループ・アンテナの構成図を図3に示します。



部材の選択、組み立て方

● 給電部と高耐圧コンデンサ

図3では、給電部にインダクティブ・リアクタンス補正用のコンデンサとして、 C_1 、 C_2 およびバリコンVCを用いています。この3個のコンデンサの直列接続容量が上記のインダクティブ・リアクタンスを補正することになります。これらのコンデンサは電流量が大きく高耐圧が必要なため、市販品から求めるのは難しく、耐圧に応じたエア・ギャップを持つ平板コンデンサを自作しました。

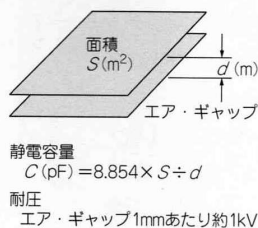


図4 平板コンデンサのキャパシタンスと耐圧

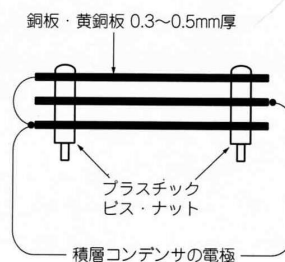


図5 積層空気コンデンサの構造

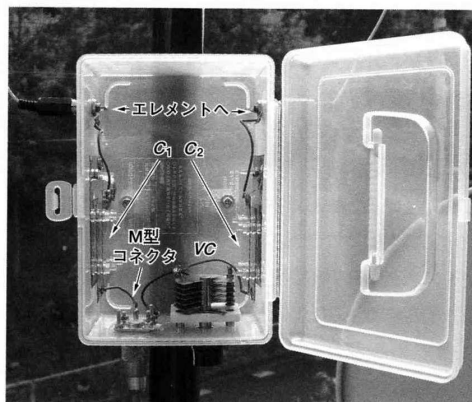


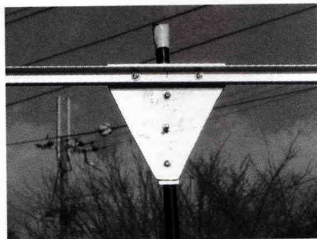
写真1 試作したマッチング部

図4はエア・ギャップを有する平板コンデンサの静電容量と耐圧を説明するものです。図5は有限な面積の中で静電容量を増大させるために、自作した積層空気コンデンサの構造を示します。

ここで用いられる銅板、黄銅板、プラスチック・ビス類は、ホームセンターなどで容易に入手可能です。図3に示す C_1 、 C_2 は図5に示す2層構造の積層空気コンデンサとし、エア・ギャップはプラスチック・ワッシャやナットを利用し、3mm程度(耐圧は3kV)とすると共に、対向する平板面積を30cm²(5×6cm)としました。これにより C_1 、 C_2 の容量は18pF程度となります。なお、微調整用として導入したバリコンVCは50pF/1.5kVのものを使用しました。

給電部は、写真1に示すように小型のプラスチック・ケースを用い、上記のコンデンサとバリコンを収納しています。写真ではケースの左右に C_1 、 C_2 用として自作した積層コンデンサを納めています。また、写真に示すようにループの斜辺

写真2
グラスファイバ・
ポールへの水平部
エレメントの取り
付け



部とはRCAコネクタにより接続し、M型コネクタにより給電用同軸ケーブルと接続しています。

● 水平部および斜辺部の放射エレメント

図3に示す水平部は5mとしています。入手が容易でかつ細くて軽いものが要求されます。

これまでの経験から、水平部については中央に1.8mの長さを持ち、断面がコの字状(12×12×12mm、厚さ1mm)のアルミ・アングルを使い、その両端に1.8mの長さを持つアルミLアングル(9×9mm、または15×15mm厚さ1mm)をそれぞれ20cm重ねて接続し、5mの水平部としています。

これらのアルミ部材は、ホームセンターなどで容易に入手できます。なお、この水平部の下記グラスファイバ・ポール頂部への取り付けは、性能確認を行う場合3mmビス1本で行っていますが、斜辺部ワイヤにより水平状態は良好に維持できます。また、少し長期間使用する場合には、写真2に示すように、10cm程度のアルミ3角板を利用してアンテナのポールへの取付部を補強すれば、ベターです。市販されている上記のアルミ・アングルは、通常その表面が硬い絶縁皮膜で覆われているので、接続部についてはあらかじめヤスリをかけ、絶縁皮膜を除去しておくことをお勧めします。

図3に示す斜辺部エレメントは、入手の容易な0.5mm²のビニール撚り線を用いました。斜辺部ワイヤの長さを6.5mとしています。これは図1、図2を求めた場合と同じ手順で、MMANAを用いて水平部を5mとし、インピーダンスのR成分が50Ωとなるループ長を求め、若干の余裕を持たせて決めました。

● アンテナ用ポール

先端径11mmの10mグラスファイバ・ポール

Apr. 2007

7MHz用0.4λ短縮ループ・アンテナ 検討、試作

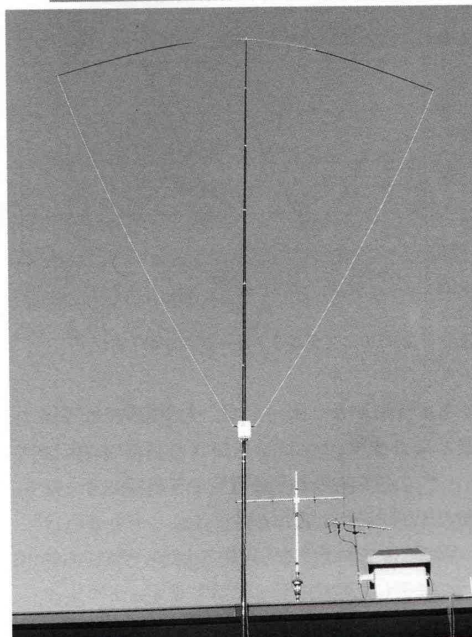


写真3 試作し実験した7MHz 0.4λ短縮デルタ・ループ

(World Wide社 W-GR-1000H)を使用しました。なお、ポールは振り出し式であるため、順次伸張するとき、各継ぎ目部分にφ3.5mm程度の穴をあけ、3mmのビスを挿入しておけばポール各部の滑落防止に役立ちます。

図3に基づいて試作したループ・アンテナを写真3に示します。写真はわが家2階のベランダに設置したのですが、水平部がやや曲がり弓型になっています。アンテナ・シミュレータで評価した形状と若干異なりますが、特性評価の結果特に問題はありません。

調整と特性

● アンテナの調整

調整は、バリコンVCの回転角度を、目視により30pF程度になるところにセットした後、SWRアナライザを用いて、7.05MHzでSWRが最小になるように、斜辺部の長さを切断し調整します。その後バリコンの回転角度を変化させ、SWRが最低になる周波数が変化することを確認します。SWRが2以下になる周波数範囲が後述

本誌は全国各地の書店のほか、お近くの⑦セブンイレブンでもご注文いただけます！

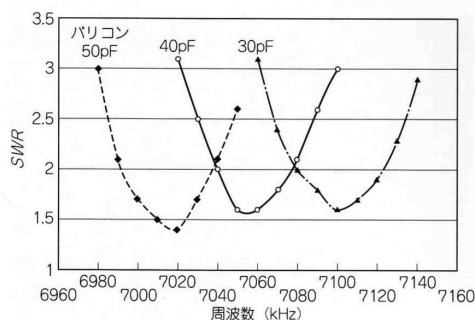


図6 7MHz 0.4λデルタ・ループのSWR特性

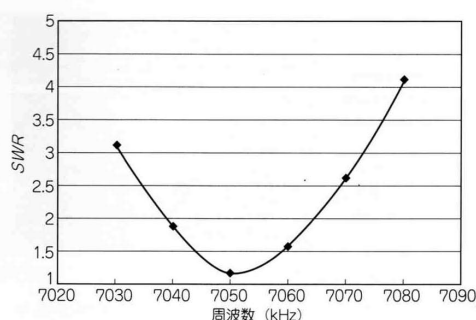


図7 7MHz 0.4λデルタ・ループのSWR予想値

するようになり狭いため、やや根気の必要な作業となります。なお、試作した積層コンデンサ C_1 , C_2 の値をあらかじめ測定できればベターです。

● SWR 特性

写真3のアンテナをSWRアナライザMFJ-259Bにて測定した結果を図6に示します。

測定ではバリコンを回転させ3点にて測定しましたが、このようにバリコンを用いれば7MHzバンドの全帯域をカバーできることがわかります。給電部と上記の測定器とは2mの5D-2Vで接続しました。

図6のグラフからSWRが2以下を示す周波数範囲は30~40kHz程度と読み取れます。

● シミュレーションによるSWR評価と放射パターン、各エレメントの電流分布

MMANAを用いて給電部を20cmの長さの水平エレメントとし、限りなく逆三角形に近い台形ループ・アンテナとし、その中央に給電すると

もに、両端に15pF前後のコンデンサを導入した、SWRのシミュレーションを試みました。

コンデンサの値を繰り返し変化させながら、7.05MHzにおけるSWR計算値が最低になるようにコンデンサの値を調整した後、周波数を10kHz間隔で上下に変化させ、各周波数におけるSWRを計算した結果を図7に示します。

このグラフはその形が図6の測定結果とかなりよく一致しており、7MHz用0.4λデルタ・ループでは、SWRが2以下を示す帯域幅は30kHz程度であることが確認できます。このように帯域幅が狭いのは、短縮型アンテナの宿命と思われます。

図8は、上記のコンデンサを用いた場合の7.05MHzにおける水平、垂直面の放射パターンです。水平偏波と垂直偏波が同じ程度放射されていること、打ち上げ角の幅が広くDX向けでなく、国内向けに好適であることなどがわかります。また、図9は各エレメントにおける電流分布を示し、頂部の水平エレメントに電流の腹があることもわかります。

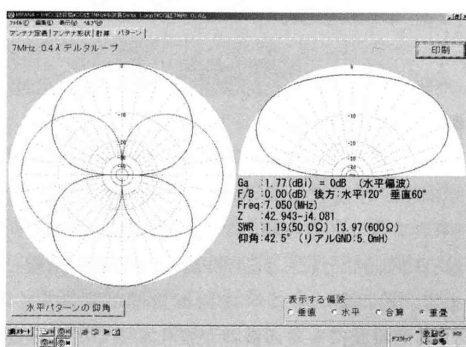


図8 7.05MHzにおける水平、垂直面の放射パターン

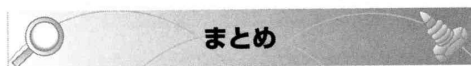
運用結果

写真3に示す状態で10月中旬より運用テストを始めました。昼間の50W運用で国内ばかりですが、CQに応じて幸いにも1時間ほどの運用で、連続して15局から呼んでいただいたこともあり、相手局からのシグナル・レポートもほとんど59から59プラスのため、一応電波は飛んでいるものと感じています。

7MHzのSSBバンドでも、40kHz近辺で運用

する場合と70kHz近辺で運用する場合にはバリコンを少し調整する必要がある、この点少し使い勝手は良くありませんが、運用周波数をだいたい定めている場合にはそれほど不便は感じません。

ただし、写真3からも容易に想像できるように先端径11mmのグラスファイバ・ポールでは風には弱く、天気予報で強風が予想されるときにはいつもアンテナを下ろすようにしています。アンテナの上げ下げはポールを伸縮するのみで、この作業はそれほど苦になるものではありません。今後はタイヤ・ベースを用いた移動運用テストも行いたいと思っています。



アンテナ・シミュレーション・ソフトを用いて、7MHz用ループ・アンテナの小型化を検討し、ループ長0.4λ近辺に一つの回答がありそうなことがわかりました。

この結果に基づき、7MHz用0.4λデルタ・ループ・アンテナを試作し、良好に動作することが確認できました。製作にあたっては高耐圧、大電流容量のコンデンサが必要であり、ほとんど自作に頼るしかありませんが、比較的簡単に自作することも確認できました。

このアンテナのSWRが2以下の帯域幅は、30～40kHzと比較的狭く、7MHzバンドをフルカバーするためには、バリコンなどを用い調整することが必要です。

以下に少しこのアンテナ製作を通じて得た感想、今後の課題などをまとめます。

- 小型ループ・アンテナではマグネチック・ループ・アンテナ (MLA) が思い浮かびます。MLAは小型化という点ではひじょうに優れたものですが、放射抵抗が極めて低く、ループ内での損失を最小限に抑えるため放射エレメントとして銅パイプを使用したり、スプリット・ステータ・バリコンや接続損失の少ない自作コンデンサの使用が必要です。

この0.4λデルタ・ループでは放射抵抗が50Ω近辺の領域を使用するため、ループ内での損失抵抗をそれほど厳しく抑える必要はありません。

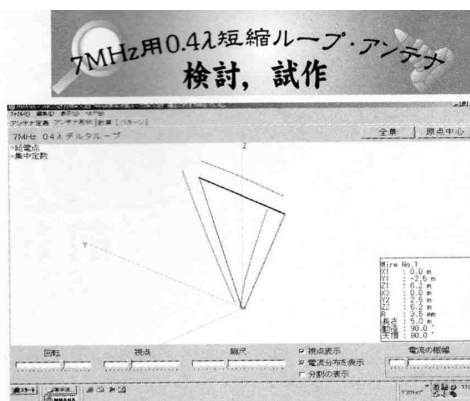


図9 各エレメントの電流分布

ん。この意味で、今回の0.4λデルタ・ループは製作が容易なものとなります。

- 表1では横長タイプのほうが利得の高いことがわかります。これは図9の各エレメントの電流分布と考え合わせると、電流の腹がループ頂部の水平エレメントにあることから、この水平エレメントを長くするほうが有利なためと考えられます。また、水平エレメントを長くしやすい、デルタ・ループのほうが長方形ループより有利でしょう。
- 以上のことから、このアンテナの特徴は、インピーダンスを50Ω近辺に保ちながら、給電部を低く抑え、エレメントの頂部に電流の腹を持ち上げ放射効率をあげている点にあると考えられます。
- 今後はほかの周波数バンドにおいて0.4λループ・アンテナを検討するとともに、表1に示す横長タイプについて検討すること、特に21～50MHzバンドでは各種の横長タイプも作りやすく、利得の高い小型アンテナに挑戦することなど、興味のあるテーマと考えます。

(je3hfu@jarl.com)

参考文献

- (1) JE3HFU 田辺謙造；超軽量18.21MHz用デルタループ・アンテナの製作，CQ ham radio 2007年1月号，p.84.
 - (2) JA1CA 岡本次雄著；アマチュアのアンテナ設計法，1985年，p.156，CQ出版.
 - (3) JH1DGF 吉村裕光編著；アンテナハンドブック 第2章，p.355，CQ出版.
- ＜10mポールの入手先＞World Wide社 <http://www15.wind.ne.jp/~World-Wide/wgr1000h.html>
TEL；027-327-7776